

## Диэлектрическая релаксация в аморфном $\text{BiFeO}_3$

Л.Н. Коротков<sup>1</sup>, М.А. Панкова<sup>2</sup>, В.С. Дворников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, 394026 Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский институт МВД РФ, 394065 Воронеж, Россия

e-mail: l\_korotkov@mail.ru

В последние годы внимание исследователей привлекли наноструктурированные и слабоупорядоченные материалы, некоторые из которых обладают уникальными физическими свойствами. Среди них – аморфные материалы на основе сегнетоэлектриков, из которых наиболее изучены аморфные  $\text{PbTiO}_3$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$  и другие. Вместе с тем, диэлектрические свойства, аморфного мультиферроика феррита висмута  $\text{BiFeO}_3$ , до сих пор практически не исследовались.

Образцы для экспериментов были приготовлены в виде пластин  $\approx 5 \times 5 \times 0,3$  мм<sup>3</sup> методом сверхбыстрой закалки расплавов. Предварительно тщательно перемешанные порошки оксидов висмута и железа, взятые в соотношении, соответствующему стехиометрическому составу  $\text{BiFeO}_3$ , плавилась в алундовом тигле при температуре около 1100°C. Затем расплав подавали на «наковальню» и прижимали сверху «молотом». Аморфное состояние материала подтверждено результатами рентгеноструктурного анализа, выполненного на рентгеновском дифрактометре Дрон-3.0 (CoK $\alpha$ -излучение). Химический состав приготовленных образцов определялся с помощью микроанализатора рентгеновского спектра JXA-840.

Для диэлектрических измерений серебряные электроды наносились на поверхность образцов методом испарения. Образцы помещали в термостат, где температура изменялась от -196 до 650°C и измерялась с погрешностью менее  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Измерения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) проводились с помощью емкостного моста на частотах ( $f$ )  $10^2$ - $10^6$  Гц в режиме нагрева со скоростью  $\approx 2 \div 3^\circ\text{C}/\text{мин}$ .

Для определения температуры кристаллизации  $T_{\text{сг}}$  был проведен дифференциально-термический анализ (ДТА). Обнаружены два максимума на температурной зависимости сигнала ДТА. Экзотермический пик в области  $T_{\text{сг}} \approx 490^\circ\text{C}$  обусловлен кристаллизацией материала. «Низкотемпературный» максимум в области  $T_{\text{г}} \approx 400^\circ\text{C}$  имеет специфическую форму, которая обычно наблюдается в процессе структурной релаксации стекол. Эти процессы сопровождаются аномалиями  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$ , вероятно, за счет вклада подвижных носителей заряда. Поэтапный отжиг приводит к уменьшению этих аномалий и их смещению по оси температуры в противоположные стороны.

При температурах существенно ниже температуры кристаллизации обнаружены два термически активируемых максимума  $\text{tg}\delta$  - низкотемпературный и высокотемпературный. Увеличение частоты измерительного поля приводит к смещению обоих максимумов в высокотемпературном направлении. Это свидетельствует о том, что оба максимума обусловлены релаксацией поляризации, имеющей термоактивированный характер.

Характерное время релаксации низкотемпературного релаксационного процесса подчиняется закону Аррениуса:  $\tau = \tau_0 \cdot e^{U/kT}$ , где  $\tau_0$  - предэкспоненциальный множитель,  $U$  – энергия активации,  $k$  – постоянная Больцмана. Из экспериментальных данных было найдено, что  $U \approx 0.53$  эВ и  $\tau_0 \approx 4.38 \cdot 10^{-12}$  с.

Предполагается, что наблюдаемые в аморфном феррите висмута релаксационные процессы связаны поляризацией Максвелл-Вагнеровского типа.